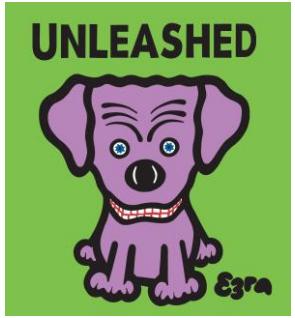
Quantenradierer und Quantenkryptographie für den Unterricht



Dr. Jens Küchenmeister

Workshop Quantenphysik in der Schule

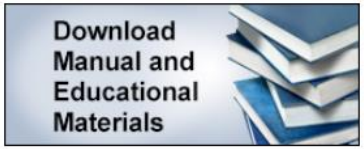
2019-07-13

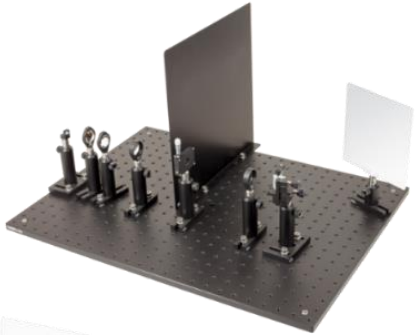
Thorlabs Discovery

Versuche für Schule und Hochschule
– Discovery.thorlabs.com

Zentrale Eckpunkte

- Kostengünstige Kits
- Ausführliches, didaktisches Begleitmaterial (kostenlos)
- Schnelle Lieferung

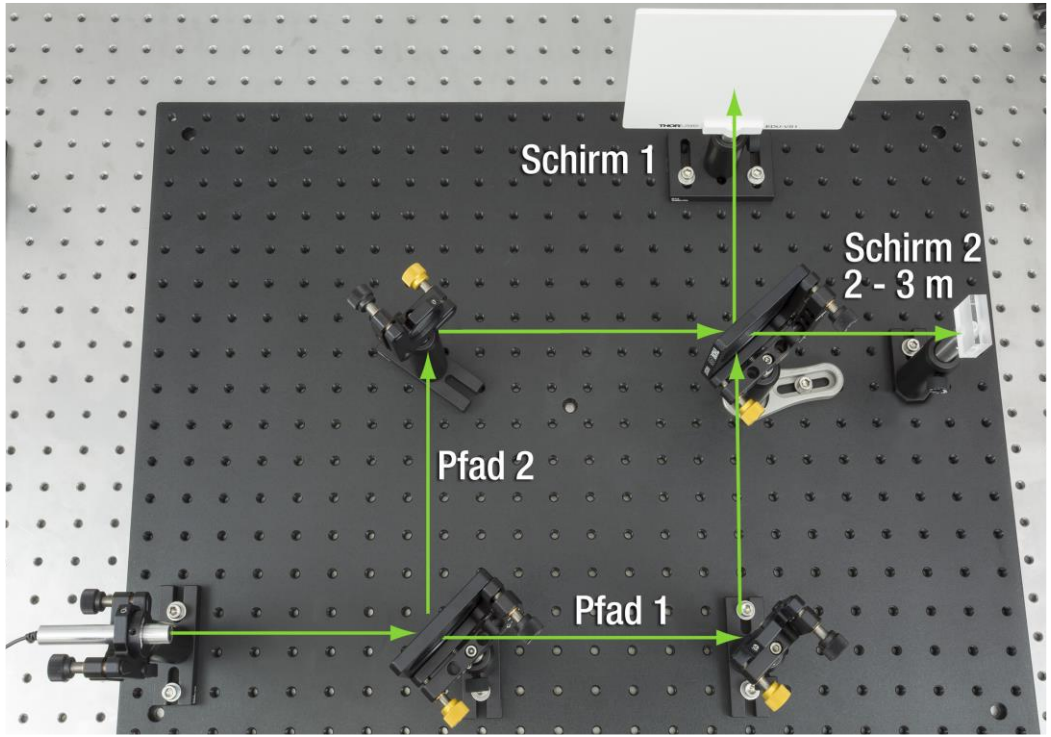




Quantenradierer (Analogieversuch!)

- Mach-Zehnder-Interferometer
- Sichtbares Interferenzmuster (ident. zu einzelnen Photonen)
- Warum Interferenz?

  => 2 Wege / Zustände
- Was passiert, wenn ich diese Wege „markiere“ ?

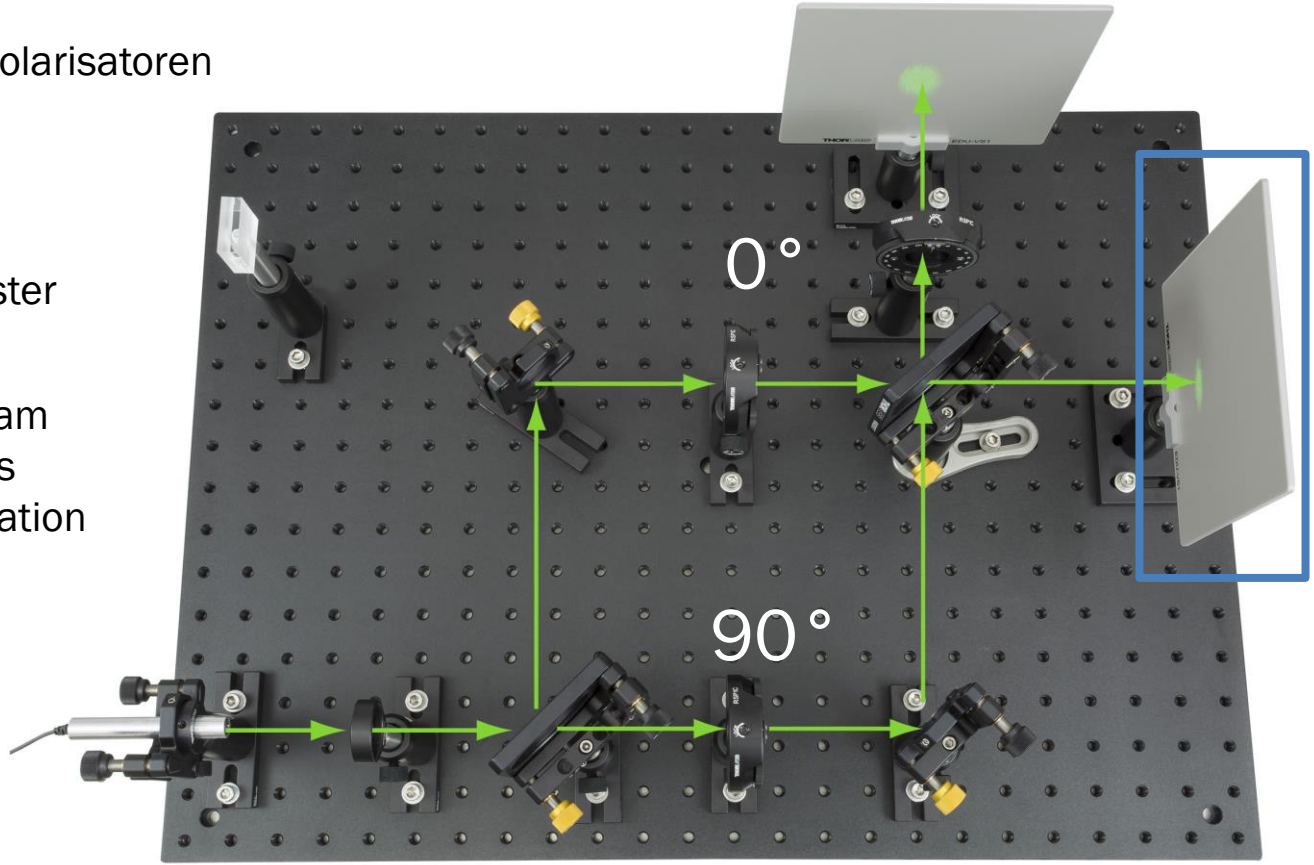


Quantenradierer

- Wegmarkierung über Polarisatoren

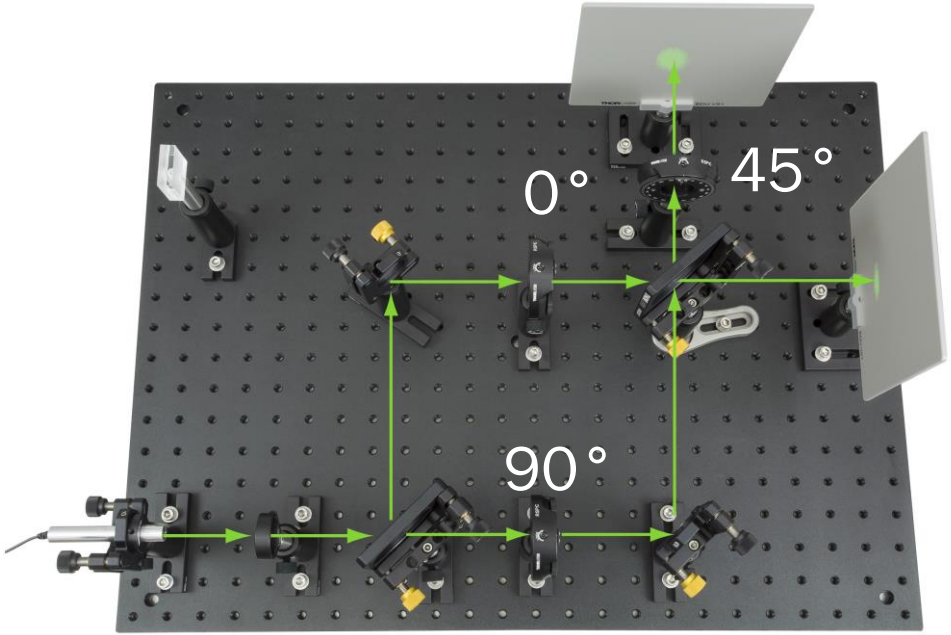
- 0° und 90°
  => kein Interferenzmuster

- Warum? Bei Messung am Schirm müsste sich das Photon für eine Polarisation entscheiden!



Quantenradierer

- Der Clou: die Weginformation lässt sich wieder ausradieren!



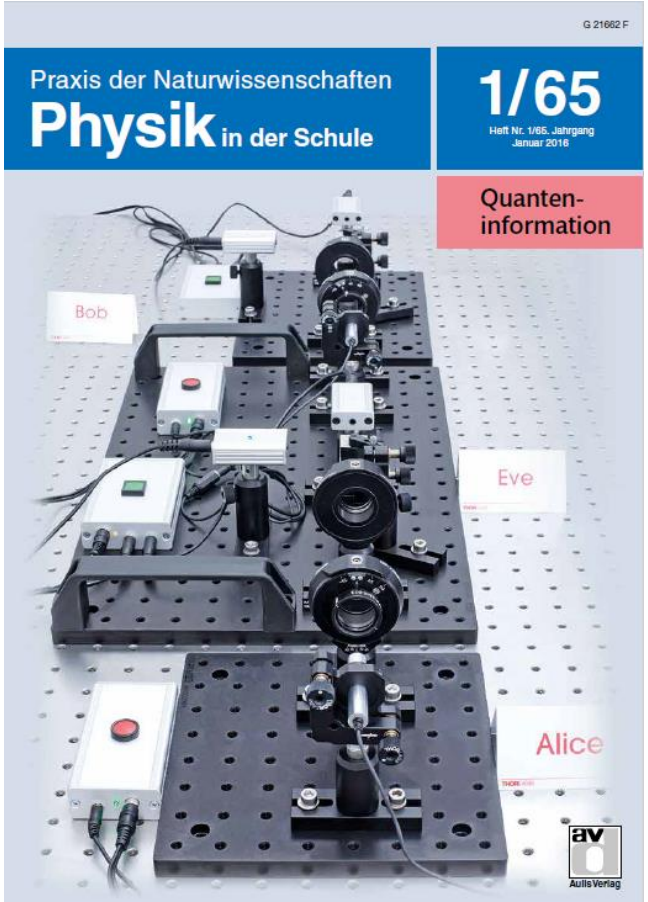
(deshalb Mach-Zehnder ...)

Quantenkryptographie – ein kurzer Dank

- OStR Jörn Schneider,
  Leibniz-Gymnasium Dormagen
- Prof. Dr. Jan-Peter Meyn,
  FAU Erlangen-Nürnberg

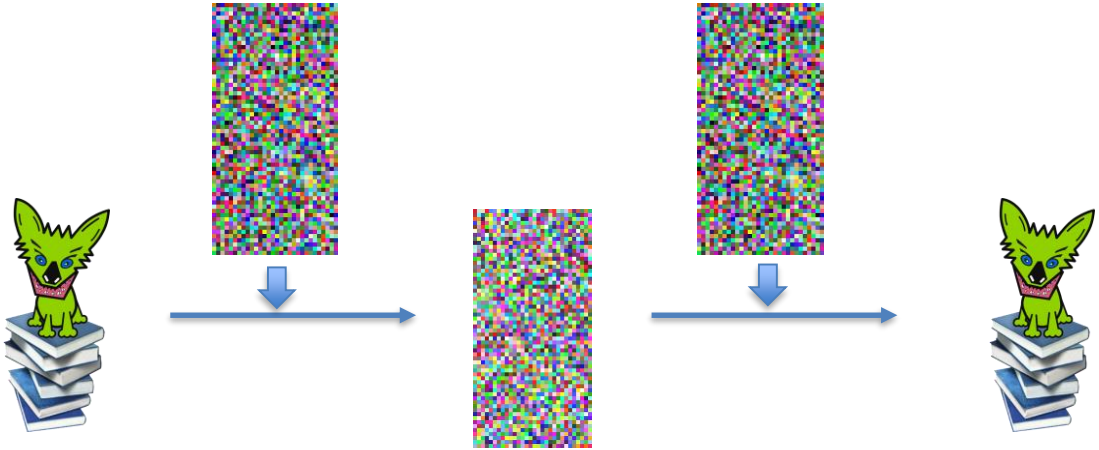
- Wir sind offen für Ihre Ideen

  und für Kooperationen!



Quantenkryptographie

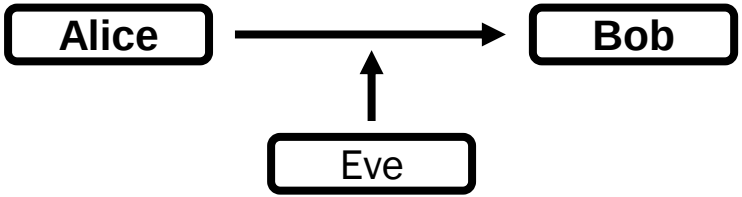
- Verschlüsselung



- 100 % abhörsichere Kommunikation?
  - Schlüssel ist nur Sender und Empfänger bekannt
  - Schlüssel wird nur einmal verwendet und ist komplett zufällig

Quantenkryptographie

- Alice (=Sender) und Bob (=Empfänger) erzeugen gemeinsam einen *abhörsicheren* Schlüssel => *BB84-Protokoll*
- Nachricht dann sogar öffentlich übertragbar



Quantenkryptographie

BB84-Protokoll komplett nachspielen!

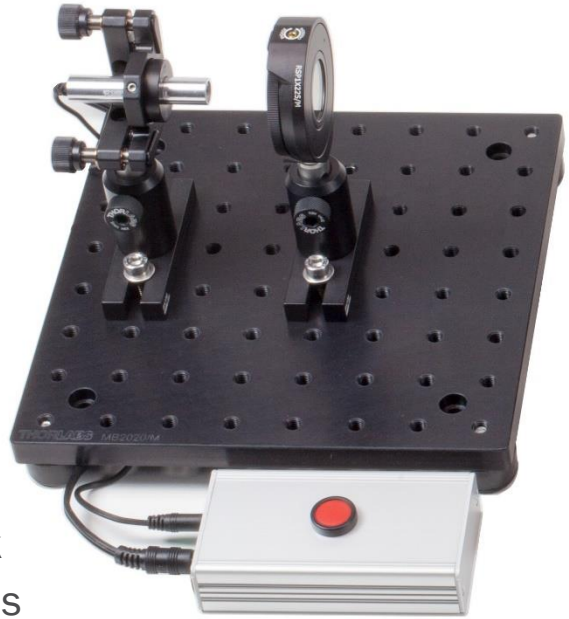
- Zustand präparieren
- Schlüssel erzeugen
- Datenübertragung
- Entdecken von Eve beim Abhören

Quantenkryptographie

Alice

$\frac{\lambda}{2}$ Platte

Roter Laser (linear polarisiert)



Knopfdruck
⇨ Laserpuls

x Basis:

-45° (≙ 0)
45° (≙ 1)

+ Basis:

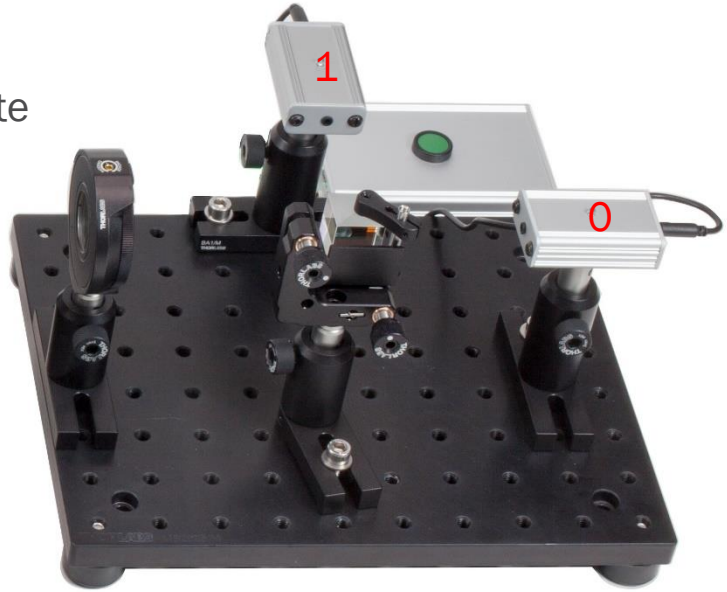
0° (≙ 0)
90° (≙ 1)

Quantenkryptographie

Bob

Photodetektoren mit Elektronik

$\frac{\lambda}{2}$ Platte



0° oder 45° :

Auswahl der Mess-Basis

Polarisierender Strahlteilerwürfel

Quantenkryptographie

Beispiele:

- Alice sendet 0° (≙ 0), Bob misst in + Basis
- Alice sendet 45° (≙ 1), Bob misst in x Basis
- Alice sendet 45° (≙ 1), Bob misst in + Basis => ? Zufall!

Quantenkryptographie

Und wie wird nun endlich der Schlüssel erzeugt?

Quantenkryptographie

- Alice: wählt **zufällige** Basen und Bits

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Basis	x	x	+	x	+	+	+	x	x	+	x	x	x	+	+	x	+	x
Bit	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1

- Bob wählt **zufällige** Basen (in denen er misst)

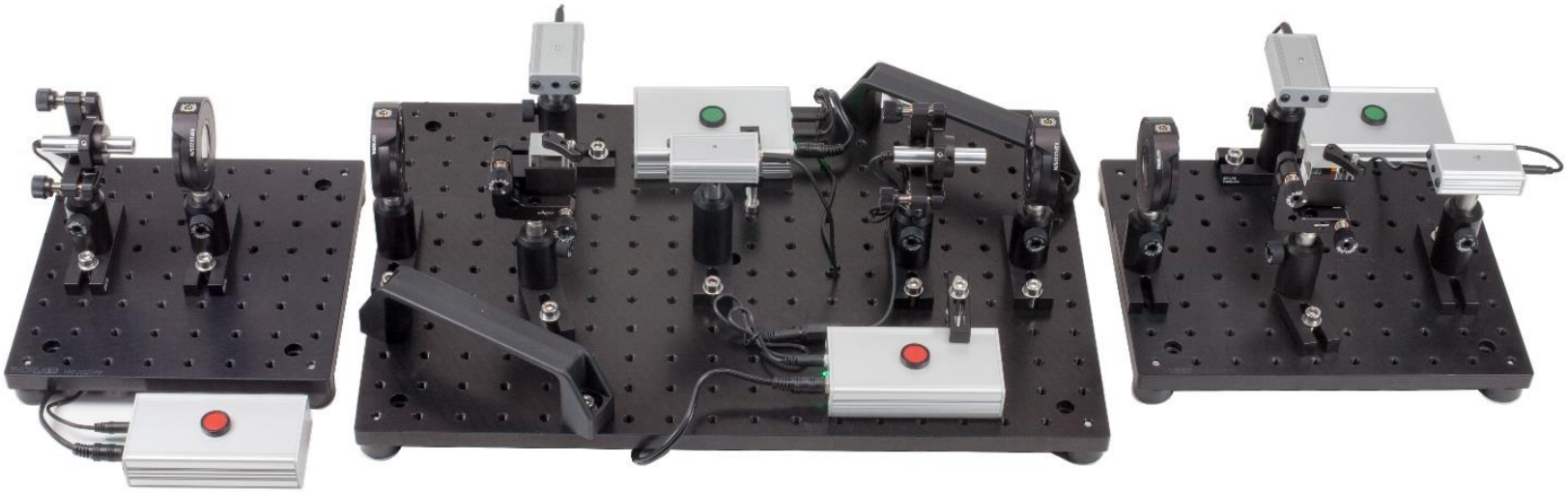
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Basis	+	x	x	x	+	+	+	x	+	x	x	+	+	x	+	+	+	x
Bit	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1

- Alice sendet jetzt und Bob misst

- Alice und Bob sagen öffentlich, bei welcher Messung sie welche Basis verwendet haben
  - Basis gleich => Bit wird behalten
  - Basis ungleich => Bit wird verworfen

Schlüssel: 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1

Abhören mit Eve



Quintessenz: Messung durch Eve verändert Zustand

⟹ Alice und Bob erkennen Eve! (25% der Testbits falsch), *vor dem Senden der Nachricht!*

Discovery.Thorlabs.com

EDU-QRY1/M:
3.725,29 € (inkl. MwSt.)

EDU-QE1/M:
2.043,93 € (inkl. MwSt.)